EXTRAIT DU BULLETIN DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE CRACOVIE.
CLASSE DES SCIENCES MATHÉMATIQUES ET NATURELLES.
FÉVRIER 1907.

Über sekundäre Kathodenstrahlen

von

J. Laub.

CRACOVIE
IMPRIMERIE DE L'UNIVERSITÉ
1907.

Über sekundäre
Kathodenstrahlen.

Inaugural-Dissertation

verfasst und der

Hohen Philosophischen Fakultät

der

Kgl. bayer. Julius-Maximilians-Universität Würzburg

zur

Erlangung der Doktorwürde

vorgelegt

am 10. November 1906

von

Jakob Laub

aus

Rzeszow (Oesterreich).

ACAD
LUDOVICO
RUM

Würzburg.
Buchdruckerei Franz Staudenraus
1907.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549805_0193

Extrait du Bulletin de l'Académie des Sciences de Cracovie.
Classe des Sciences mathématiques et naturelles.

Séance du 4 Février 1907.

M. J. LAUB. **O wtórych promieniach katodowych.** ***(Über sekundäre Kathodenstrahlen).*** (*Sur les rayons cathodiques secondaires*). Mémoire présenté par M. A. Witkowski m. t.

1. Einleitung.

Eingehende Messungen über die Vorgänge, die mit dem Auftreffen von Kathodenstrahlen auf ein Metall verknüpft sind, haben zuerst Herr Starke [1]), dann Herr Seitz [2]) und insbesondere die Herren Austin und Starke [3]) mitgeteilt. Nach den Untersuchungen von Austin und Starke findet folgendes statt: Fallen Kathodenstrahlen senkrecht auf ein zur Erde abgeleitetes Metallblech, so zeigt das Galvanometer, durch welches hindurch das Metall zur Erde geleitet ist, einen von der in den Strahlen transportierten Elektronenmenge herrührenden, negativen Strom an. Der Strom gibt aber nicht die gesamte Menge an, weil von dieser ein großer Teil, und zwar bei Platin etwa 70%, durch diffuse Reflexion verloren geht. Dreht man den Reflektor um eine in seiner Ebene liegende Achse, so nimmt der Strom immer mehr ab und geht schließlich mit wachsendem Inzidenzwinkel über Null zu positiven Werten über. Dieser positive Strom wächst immer mehr, je schiefer die Strahlen auffallen, und kann Werte erreichen, welche größer sind als der negative Strom bei normaler Inzidenz.

Die beiden Forscher konnten nachweisen, daß dieses eigentümliche Phänomen sich nur durch Emission sekundärer Kathodenstrahlen, welche durch das Auftreffen der primären hervorgerufen werden, erklären läßt. Es müssen also soviel sekundäre, negative Teilchen vom Körper ausgesandt werden, daß dadurch nicht nur die Ladung der absorbierten primären Strahlen kompensiert wird, sondern sogar eine positive Ladung zurückbleibt.

Diese sekundäre Strahlung, die um so größer ist, je schiefer

[1]) H. Starke, Wied. Ann. 66, S. 49, 1898; Ann. d. Phys. 3, S. 75, 1900.
[2]) W. Seitz, Ann. d. Phys. 6, S. 1, 1901.
[3]) L. Austin u. H. Starke, Ann. d. Phys. 9, S. 271, 1902.

die Inzidenz der auftreffenden Kathodenstrahlen, soll ferner nach Austin und Starke bei senkrechter Inzidenz verschwinden; es findet also in dem Falle eine reine diffuse Reflexion statt. Die Emission ist desto größer, je vollkommener die Politur, je größer die Dichte des Reflektormetalls ist; Platin ist das wirksamste Metall, während Aluminium gar keinen positiven Effekt zeigt. Die Emission nimmt mit der Geschwindigkeit der primären Kathodenstrahlen stark ab, ist aber unabhängig vom Gasdruck. Austin und Starke schließen ferner aus ihren Versuchen, daß die Geschwindigkeit der sekundären Elektronen von derselben Größenordung, wie diejenige der primären, sei.

Zu ganz anderen Ergebnissen, die den oben besprochenen widersprechen, kommt Lenard[1]) in seinen Untersuchungen über sekundäre Kathodenstrahlen. Die Primärstrahlen waren lichtelektrisch erzeugt, und ihre Geschwindigkeit entsprach Spannungen zwischen 10 und 4000 Volt. Die Sekundärstrahlung ist bei den kleinsten untersuchten Spannungen, das ist unter 100 Volt, verschwindend klein, nimmt dann zu und erreicht ihr Maximum ungefähr bei 500 Volt. Die Intensität der sekundären Emission ist nach den Messungen von Herrn Lenard unabhängig vom Einfallswinkel der primären Strahlen, sowie von der Güte der Politur. Auch bei rauhen, senkrecht bestrahlten Oberflächen findet Lenard eine kräftige Emission, deren Intensität unter Umständen erheblich größer ist als die der Primärstrahlen. Am wirksamsten zeigte sich Aluminium. Die Geschwindigkeit der sekundären Strahlen wurde immer sehr klein gefunden, sie entspricht z. B. bei Platin als Reflektormetall einer Beschleunigung von 10·8 Volt oder bei Kupfer einer solchen von 7 Volt; denn wurde der Reflektor auf $+10{\cdot}8$ resp. $+7$ Volt geladen, so hörte die Sekundärstrahlung auf. Eine Reflexion der Primärstrahlen „mit unverminderter oder auch ganz bedeutend verminderter Geschwindigkeit“ wurde nicht bemerkt.

In letzter Zeit hat auf Anregung Prof. Lenards das gleiche Phänomen Herr Becker[2]) untersucht, der die Lenardschen Resultate teilweise bestätigt. Herr Becker findet, daß beim Auftreffen der Kathodenstrahlen auf ein Metall an der Oberfläche eine ziemlich starke Zurückwerfung der Strahlung stattfindet, die bei Gold

[1]) P. Lenard, Ann. d. Phys. 15, S. 485, 1904.

[2]) August Becker, Ann. d. Phys. 17, S. 381, 1905.

49—56% beträgt. Außerdem werden sekundäre, langsame Strahlen ausgelöst, deren Menge aber geringer ist, als die der sie erzeugenden primären Strahlen. Ferner schließt auch Becker aus seinen Versuchen, daß die Größe der Sekundärstrahlung in keinem merklichen Zusammenhang mit der Richtung der Primärstrahlen steht; was die Abhängigkeit von der Natur der Substanz betrifft, erweist sich Aluminium am wenigsten wirksam.

In nachstehender, auf Anregung Herrn Prof. Wien unternommener Arbeit habe ich mir die Aufgabe gestellt, einen Beitrag zur Klärung der oben skizzierten Verhältnisse zu liefern.

2. Methode der Untersuchung.

Fallen Kathodenstrahlen auf einen Körper und ist φ die Potentialdifferenz zwischen der Kathode und dem Körper, i die in der Sekunde dem Körper durch die Kathodenstrahlen zugeführte Elektrizitätsmenge, alles in absolutem, elektromagnetischem Maße, so wird bekanntlich der Körper in der Sekunde von einer Energiemenge $i\,\varphi$ Erg getroffen. Der Körper sei durch ein Galvanometer zur Erde abgeleitet und werde in der Sekunde von N_p Elektronen getroffen. Es werde zuerst die Annahme gemacht, daß die Elektronen ihre ganze Ladung und ihre ganze Energie an den getroffenen Körper abgeben. Ist dann v_p die Geschwindigkeit der Elektronen in Zentimetern pro Sekunde, m ihre Masse in Gramm, so wird dem Körper pro Sekunde die Wärmemenge:

$$Q = \tfrac{1}{2} N_p m v_p^2 \quad \text{(Erg)} \tag{1}$$

zugeführt. Die Intensität des durch das Galvanometer fließenden Kathodenstromes ist:

$$i = N_p \varepsilon\,, \tag{2}$$

wo ε die Ladung des Elektrons bedeutet. Ist anderseits φ die Potentialdifferenz zwischen der Kathode und dem Körper, so ist:

$$\varepsilon \varphi = \tfrac{1}{2} m v_p^2\,; \tag{3}$$

daher

$$Q = N_p \varepsilon \varphi = i \varphi,$$

oder

$$\frac{i\varphi}{Q} = 1\,. \tag{4}$$

Werden aber beim Auftreffen von N_p Elektronen mit der Geschwindigkeit v_p, die wir primär nennen wollen, N_r Elektronen, deren Geschwindigkeit v_r sein möge, zurückgeworfen, werden ferner außerdem beim Auftreffen der primären Kathodenstrahlen vom Körper N_s neue „sekundäre" Elektronen mit der Anfangsgeschwindigkeit v_s ausgelöst, wobei die Größen v_p, v_r, v_s voneinander verschieden sind, dann werden die obigen Gleichungen, wenn die Energie der sekundären Strahlen nicht aus dem Körper selbst stammt, offenbar folgende Gestalt annehmen:

(1a) $$Q = \tfrac{1}{2} m \{N_p v^2_p - N_r v^2_r - N_s v^2_s\}$$

(2a) $$i = \varepsilon \{N_p - (N_r + N_s)\}$$

(3a) $$\varepsilon \varphi = \tfrac{1}{2} m v^2_p$$

(4a) $$\frac{i\varphi}{Q} = \frac{v^2_p \{N_p - (N_r + N_s)\}}{N_p v^2_p - N_r v^2_r - N_s v^2_s}.$$

Die Gleichung (4a) kann $\gtrless 1$ sein, sie wird nur dann gleich 1 werden, wenn

1) $$v_r = v_p,$$

und gleichzeitig

2) $$v_s = v_p \qquad \text{ist.}$$

Es sollen in der vorliegenden Arbeit diese Beziehungen bei verschiedenen Metallen, verschiedenen Spannungen und verschiedenem Inzidenzwinkeln der primären Kathodenstrahlen untersucht und daraus Schlüsse über die Vorgänge bei der sekundären Kathodenstrahlung gezogen werden.

3. Die Versuchsanordnung.

Bei der Ausführung der Versuche wurde folgender, auf der nächsten Seite abgebildeter Apparat gebraucht: Fig. 1.

In die 15 cm lange, 2 cm weite Röhre R ist die schwach konkave, aus Aluminium angefertigte Kathode K eingeschmolzen. Als Anode dient das leichtverschiebbare Doppeldiaphragma D, ein 5 cm langer und in die Röhre R genau passender Messingzylinder, dessen vordere, der Kathode zugewandte Fläche auch aus Aluminium an-

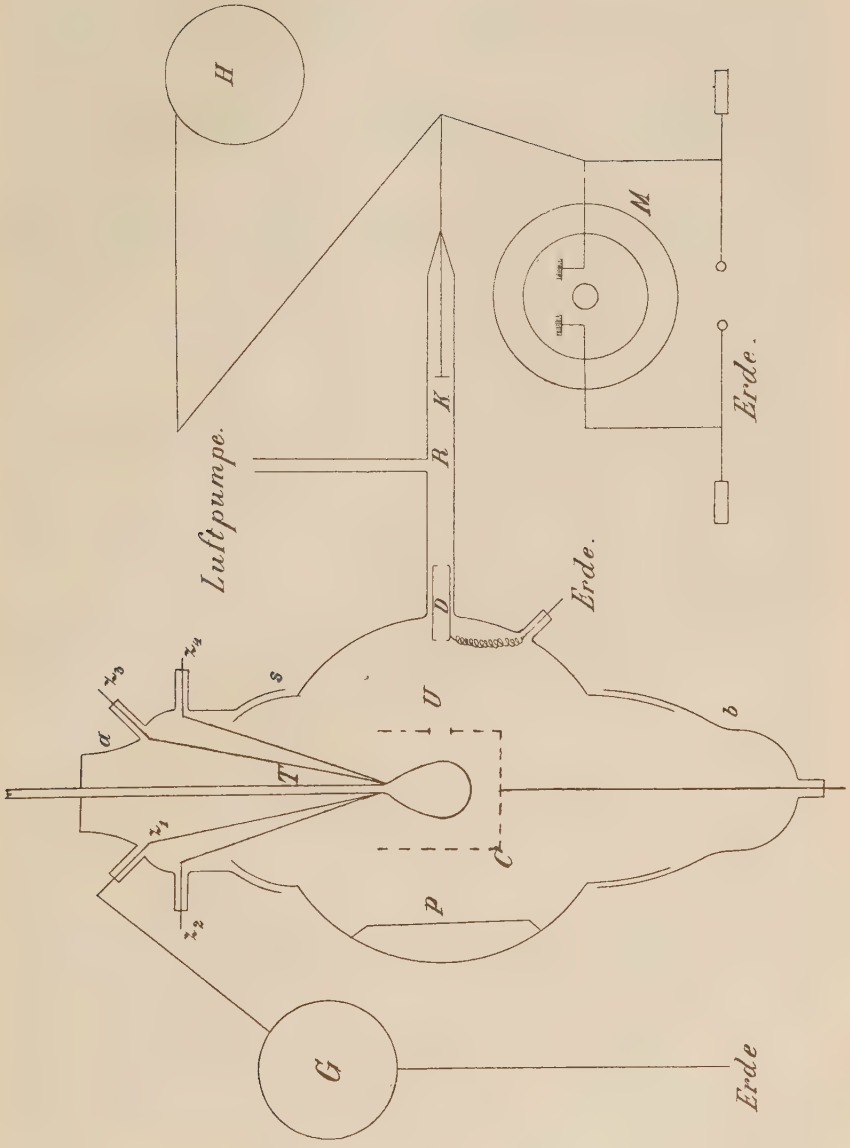

Fig. 1.

gefertigt ist. Das Doppeldiaphragma D, dessen kreisrunde Öffnungen einen Durchmesser von 3 mm haben, ist zur Erde abgeleitet, wodurch der Entladungsraum von dem Reflektorraum ganz abgesperrt ist. Die aus dem Diaphragma austretenden Kathodenstrahlen sind nahezu parallel, denn der Durchmesser des Flecks, der von ihnen an dem im folgenden beschriebenen Reflektor erzeugt wird, ist nur wenig größer als die Öffnungen des Diaphragmas.

An das Rohr R schließt sich das 8 cm weite, kugelförmige Gefäß U an. In das Glasrohr a des leicht drehbaren Schliffes s ist das Thermometer T eingekittet, welches zugleich als Reflektor und zur Messung der von den auftreffenden Kathodenstrahlen erzeugten Wärmemenge dient. Das Thermometergefäß hat einen Durchmesser von 1·5 cm und ist möglichst flach gemacht; die Thermometerkapillare besitzt einen Duchmesser von $^1/_{10}$ mm und ist 40 cm lang. Eine Seite des Thermometergefäßes wurde sorgfältigst platiniert, wobei darauf geachtet wurde, daß die Platinschicht verhältnismäßig dick aufgelegt wird, so daß sicherlich keine Strahlen hindurchdringen konnten. An den Rand der platinierten Seite sind 4 Platindrähte, je zwei zusammen, angelötet. Das Anlöten der Drähte gestaltete sich ziemlich schwierig. Das Thermometer wurde mit Toluol im Vakuum gefüllt, indem es in ein mit Toluol gefülltes und mit der Wasserstrahlpumpe verbundenes Rohr gebracht wurde. Es mußte wiederholt evakuiert werden; die letzten Luftblasen wurden durch vorsichtiges Erhitzen unter gleichzeitiger Evakuierung vertrieben. Die Kapillare ist mit Hilfe der Teilmaschine mit Millimeter-Skala versehen. Der Abstand zwischen dem Diaphragma und dem Reflektor beträgt ungefähr 5 cm.

Um den Reflektor vor irgendwelchen Störungen zu schützen, ist er von einem aus engmaschigem Drahtnetz angefertigten Zylinder C umgeben; dieser hat eine kreisrunde Öffnung von 1 cm Durchmesser, durch welche die Kathodenstrahlen auf das Thermometer fallen. Der Zylinder ist in den drehbaren Schliff b eingekittet und zur Erde abgeleitet. Der Abstand zwischen dem Reflektor und den Wänden des erdabgeleiteten Schutzzylinders beträgt 3 cm; eine Störung infolge der doppelten Reflexion kommt daher nicht in Betracht [1]). An die Hinterwand des Gefäßes U ist der Fluoreszenzschirm P angebracht.

[1]) H. Starke, Ann. d. Phys. 3, S. 86, 1900.

Die ganze Versuchsanordnung ist aus der Fig. 1 ersichtlich. Zur Erzeugung des Stromes diente die Influenzmaschine M mit zwei beweglichen Platten, welche von einem Motor mit konstanter Tourenzahl getrieben wurde und sehr konstanten Strom lieferte. Vom negativen Pol führt eine in Glasrohr mit Paraffin eingeschmolzene Leitung zur Kathode K, während der andere Pol der Maschine zur Erde abgeleitet ist. Von der Kathode geht eine ähnliche Leitung zum statischen Voltmeter H von Siemens & Halske, welches zur Messung des Kathodenpotentials gebraucht wurde. Nach dem Durchgang durch das geerdete Diaphragma D fallen die Strahlen auf den Reflektor T. Die Intensität der auf das Thermometer fallenden Strahlen wird gemessen, indem es mittels des Drahtes Z, durch ein Galvanometer von Hartmann & Braun von der Empfindlichkeit $5{\cdot}44 \cdot 10^{-10}$ Amp/mm (Skalenabstand 1·9 m) zur Erde abgeleitet ist. Bei den Messungen wurde ein Nebenschluß von 1000 Ohm gebraucht. Der Draht zum Galvanometer war durch ein abgeleitetes Messingrohr gezogen; Galvanometer und Rheostatenkasten standen bei den ersten Versuchen in Drahtnetzbehältern. Letztere Vorsicht erwies sich als nicht notwendig.

Die verschiedenen Inzidenzwinkel konnten an der Kreisteilung, die an a angebracht war, abgelesen werden. Die Evakuation besorgte zuerst die Ölpumpe, während gleichzeitig kräftige Entladungen durch die Röhre gesandt wurden, dann wurde mit der Quecksilberpumpe nachgepumpt.

4. Ausführung der Versuche.

Nachdem das Thermometer platiniert war, wurde es mit Wiener Kalk, dann auf Leder poliert. Vor dem Gebrauch wurde es mit Alkohol und Lederlappen peinlichst gesäubert. Jedoch erwies sich die Politur ohne Einfluß auf die Resultate. Das Thermometer wurde so eingestellt, daß möglichst das ganze Kathodenbündel auf den Platinspiegel nicht nur bei senkrechter Inzidenz, sondern auch bei schieferem Einfallswinkel falle. Drehte man den Schliff a (bis 88°), so sah man, wie der vom Strahlenbündel am Platinspiegel erzeugte Fleck sich mitbewegte, immer auf der Reflektorfläche bleibend. Außerdem war am Schirm P gar keine Fluoreszenz zu bemerken, was auch als Kontrolle dafür diente, daß das ganze Bündel auf den Reflektor fiel.

Der erste Versuch wurde immer bei senkrechter Inzidenz der Primärstrahlen ausgeführt. Das Thermometer wurde $1^1/_2$ Minuten der Bestrahlung ausgesetzt. Es wurde zuerst der Ausschlag am Galvanometer und Siemens'schen Voltmeter und darnach sofort die Temperatur am Thermometer abgelesen; dann wurde noch rasch kontrolliert, ob die Spannung und Stromintensität konstant geblieben waren. Mit Hilfe einer Lupe konnte man leicht $^1/_{10}$ Teilstrich der Thermometerskala ablesen. Hierauf wurde die Aichung des Thermometers vorgenommen, indem durch das Platin ein Strom von bestimmter Spannung und Stromstärke hindurchgeleitet wurde, wobei die Spnnung mit einem Kugelpolvoltmeter von Franke in Hannover und die Stromstärke mit einem Hitzdrahtinstrument gemessen wurde.

Die durch Kapillaren gezogenen Drähte Z_2, Z_4 standen ununterbrochen mit dem Franke'schen Voltmeter, der Draht Z_3 durch das Amperemeter mit dem Pol eines Akkumulators in Verbindung; man brauchte nur den Draht Z_1 vom Galvanometer abzunehmen und mit dem zweiten Pol des Akkumulators zu verbinden, um die Aichung auszuführen. Ist nun die Intensität des durch das Thermometer geleiteten Stromes gleich I Ampère, ist ferner die Spannungsdifferenz zwischen den Drähten Z_2 und Z_4 gleich Φ Volt, so beträgt die dem Thermometer zugeführte Wärme $I\Phi = Q$ Watt. Wird der Faden in der Kapillare um n Skalenteile verlängert, dann kommen auf einen Teil $\frac{Q}{n}$ Watt. Eine Intensität von 0·3 Watt genügte, um eine Temperaturerhöhung von 150 Skalenteilen zu erhalten. Die Erhöhung um einen Skalenteil war daher äquivalent mit $2{\cdot}0 \,.\, 10^{-3}$ Watt.

Hierauf wurden wieder Kathodenstromintensität und Wärmemenge bei derselben Spannung, aber bei verschiedenen Einfallswinkeln gemessen.

Durch stetiges Evakuieren wurde die Spannung allmählich erhöht; bei jeder Spannung wurden dieselben Messungen ausgeführt. Die Aichung des Thermometers wurde bei verschiedenen Spannungen von Zeit zu Zeit wiederholt.

Das statische Voltmeter von Siemens & Halske wurde mit dem absoluten Schutzring-Elektrometer geaicht. Die bewegliche Platte hing an einem Arm einer Wage; ihre weitere Annäherung an die darunter stehende, isolierte und geladene Platte wurde durch einen

Anschlag über die Wagschale, die am anderen Arm hing, verhindert; der Anschlag bestand in einer feinen, durch eine Schraube beweglich angebrachten Spitze. Im ausbalancierten Zustande mußte auf der einen Seite der Wage die Ebene der beweglichen Platte mit der Ebene des Schutzrings zusammenfallen, auf der anderen Seite die Anschlagspitze eben ohne Druck die Wagschale berühren. Das statische Voltmeter war mit dem absoluten Elektrometer durch eine Vakuumröhre verbunden. Nach Belastung der Wagschale wurde die isolierte Platte auf ein höheres Potential als das zu messende geladen und die Arretierung losgelassen. Infolge der Druckzunahme in der Vakuumröhre sank das Potential allmählich; in dem Augenblicke, in welchem die Gewichte auf der Wagschale die Wage aus dem Gleichgewicht brachten, wurden die Ausschläge an beiden nebeneinander stehenden Elektrometern abgelesen.

Der Abstand der Platten wurde mit Hilfe planparalleler Glasplatten, die zwischen den Platten verschoben wurden, festgelegt. Die Abmessungen des Schutzringelektrometers waren folgende:

Innerer Radius des Schutzrings	$= r_1 = 6{\cdot}169$	cm
Radius der beweglichen Platte	$= r_2 = 6{\cdot}043$	„
Breite der Fuge zwischen Schutzring und beweglicher Platte	$= b = 0{\cdot}126$	„
Abstand der Platten	$= a = 0{\cdot}415$	„

5. Messungen.

Die Versuche wurden bei den verschiedenen Metallen im Gebiete von 3000 bis 15000 Volt ausgeführt. Es wurden immer zwei Messungsreihen gemacht und dann noch einzelne Werte bei verschiedenen Spannungen kontrolliert. Die Werte stimmten sehr gut miteinander. Die Resultate sind in den folgenden Tabellen enthalten; i ist die in Ampère gemessene Kathodenstromstärke, φ das Kathodenpotential in Volt, Q die von den Kathodenstrahlen im Reflektor entwickelte Wärmemenge in Watt. Die folgenden Tabellen beziehen sich alle auf senkrechte Inzidenz der Primärstrahlen.

TABELLE I.

Platin.

φ	$i.\ 10^7$ Amp.	$Q.\ 10^3$ Watt	$\frac{i.\ \varphi}{Q}$
3520	17·2	7·2	0·85
4100	18·8	9·0	0·86
4710	19·1	10·4	0·87
5850	25·7	17·0	0·88
6240	28·8	20·2	0·89
6980	31·2	24·2	0·90
7600	34·4	28·8	0·92
8850	37·4	36·0	0·94
9500	41·1	41·6	0·95
10200	42·5	45·6	0·96
10600	45·2	50·0	0·97
11080	49·0	56·0	0·97
11600	53·5	63·9	0·97
12200	54·3	68·4	0·97
12700	53·8	70·4	0·97
14260	46·3	68·0	0·97

TABELLE II.

Gold.

Um einen Goldspiegel als Reflektor zu erhalten, wurde das platinierte Thermometer galvanisch mit Gold bedeckt.

φ	$i.\ 10^7$ Amp.	$Q.\ 10^3$ Watt	$\frac{i.\ \varphi}{Q}$
3500	17·3	7·2	0·85
4000	19·1	8·9	0·86
4710	19·4	10·4	0·87
5800	25·9	17·0	0·88
6180	29·1	20·2	0·89
6950	32·0	24·8	0·90
7600	35·0	29·8	0·91
8820	37·9	36·2	0·92
9540	42·2	41·8	0·94
10300	44·6	48·2	0·95
11000	49·5	56·0	0·97
12520	54·5	70·3	0·97
13910	55·0	78·8	0·97
14500	44·1	65·8	0·97

TABELLE III.

Silber.

Der Silberreflektor wurde galvanisch hergestellt.

φ	$i.\ 10^7$ Amp.	$Q.\ 10^3$ Watt	$\frac{i.\ \varphi}{Q}$
3480	20·5	8·4	0·85
4200	22·9	11·0	0·86
4820	26·4	13·3	0·88
5720	31·2	18·8	0·89
6420	33·0	23·5	0·90
7000	37·5	28·5	0 92
8100	41·0	35·3	0·94
9450	47·5	46·7	0·96
10280	50·3	53·2	0·97
12200	56·5	71 0	0·97
13200	59·2	81·5	0·97
13900	62·0	88·8	0·97
14640	40·2	60·6	0·97

TABELLE IV.

Kupfer.

Um einen Kupferspiegel zu erhalten, wurde das versilberte Thermometer elektrolytisch mit Kupfer bedeckt.

φ	$i.\ 10^7$ Amp.	$Q.\ 10^3$ Watt	$\frac{i.\ \varphi}{Q}$
3500	28·3	11·4	0·86
4250	30·2	14·6	0·87
4820	32·9	18 0	0·88
5640	37·4	23 6	0·89
6200	39·1	24·4	0·91
7420	45·0	35·7	0 93
8880	49·3	46·4	0·94
9300	52·2	50·4	0·96
10000	58·0	58 8	0·98
11520	59·0	69·2	0·98
12500	59·4	75 6	0·98
14000	52·8	75·4	0·98
14520	38·4	55 7	0·98

TABELLE V.

Nickel.

Auch der Nickelreflektor wurde galvanisch hergestellt.

φ	i. 10^7 Amp.	Q. 10^3 Watt	$\frac{i.\ \varphi}{Q}$
3200	25·2	9·3	0·86
4250	29·1	14·2	0·87
4760	30·8	16·6	0·88
5620	35·4	22·1	0·90
6180	35·6	23·0	0·91
7510	42·4	34·2	0·93
8800	46·5	43·5	0·94
9260	51·2	49·3	0·96
10100	55·4	57·0	0·98
11540	56·6	66·6	0·98
13100	57·8	77·2	0·98
14000	49·9	69·2	0·98
14720	33·4	50·1	0·98

TABELLE VI.

Aluminium.

Um die Erscheinungen bei Aluminium zu untersuchen, wurde auf das Thermometergefäß ein Aluminiumblatt aufgepreßt.

φ	i. 10^7 Amp.	Q. 10^3 Watt	$\frac{i.\ \varphi}{Q}$
3200	15·4	18·3	0·88
4280	53·9	25·9	0·89
4800	60·0	31·6	0·91
5580	70·1	43·0	0·93
6320	76·2	50·6	0·95
7000	79·4	58·3	0·96
8560	89·3	78·0	0·98
9000	92·4	84·0	0·99
10500	93·0	98·6	0·99
11640	101·2	115·4	0·99
12600	102·6	130·5	0·99
14560	56·5	83·0	0·99

TABELLE VII.

Wismut.

Der Wismutreflektor wurde durch wiederholte, stundenlange Zerstäubung einer Wismutkathode hergestellt. Der auf diese Weise erhaltene Metallbelag war ziemlich gleichförmig auf der Oberfläche des Thermometergefäßes verteilt.

φ	i. 10^7 Amp.	Q. 10^3 Watt	$\frac{i.\ \varphi}{Q}$
3400	21·2	8·4	0·85
4220	23·0	11·1	0·86
4990	27·4	14·1	0·88
5720	31·4	18·9	0·89
6540	34·5	24·7	0·91
7110	37·8	29·2	0·92
8100	41·2	35·4	0·94
9520	48·2	47·7	0·96
10300	50·4	53·2	0·97
12150	56·6	70·8	0·97
13220	59·0	81·4	0·97
13800	61·2	87·0	0·97
14420	41·3	61·3	0·97

6. Abhängigkeit vom Inzidenzwinkel der Kathodenstrahlen.

Die Versuche wurden bei allen Metallen, bei verschiedenen Spannungen, auch bei verschiedenen Einfallswinkeln der Kathodenstrahlen ausgeführt. Der größte Inzidenzwinkel betrug 88°, wobei noch das ganze Strahlenbündel von der Reflektorfläche aufgefangen wurde. Es zeigte sich, daß die Wärmemenge bei allen Metallen und bei allen Spannungen vom Einfallswinkel unabhängig war. Der Thermometerfaden zeigte nämlich bei schiefen Einfallswinkeln dieselbe Erhöhung wie bei senkrechter Inzidenz. In den folgenden Tabellen sind die Resultate zusammengefaßt; φ_{Pt} bedeutet die Kathodenspannung bei Platin, φ_{Au} bei Gold, φ_{Ag} bei Silber, φ_{Bi} bei Wismut, φ_{Ni} bei Nickel, φ_{Cu} bei Kupfer, φ_{Al} bei Aluminium als Reflektor; i mit den entsprechenden Indices bedeutet die bei den entsprechenden Metallen als Reflektoren gemessene Kathodenstromstärke. Die entwickelte Wärmemenge Q ist vom Inzidenzwinkel unabhängig, sie bleibt dieselbe wie bei senkrechter Inzidenz der entsprechenden Spannung und des entsprechenden Metalles.

TABELLE VIII.

Inzidenz-winkel	$\varphi_{Pt}=3520$	$\varphi_{Au}=3500$	$\varphi_{Ag}=3480$	$\varphi_{Bi}=3400$	$\varphi_{Ni}=3200$	$\varphi_{Cu}=3500$	$\varphi_{Al}=3200$
	$i_{Pt}.10^7$ Amp.	$i_{Au}.10^7$ Amp.	$i_{Ag}.10^7$ Amp.	$i_{Bi}.10^7$ Amp.	$i_{Ni}.10^7$ Amp.	$i_{Cu}.10^7$ Amp.	$i_{Al}.10^7$ Amp.
0°	— 17·2	— 17·3	— 20·5	— 21·2	— 25·2	— 28·3	— 50·4
20°	— 16·0	— 16·5	— 20·0	— 20·8	— 24·8	— 27·9	— 50·2
40°	— 1·3	— 3·2	— 5·4	— 5·9	— 18·1	— 20·4	— 45·8
50°	— 0·1	— 0·8	— 1·3	— 1·4	— 16·0	— 18·6	— 42·5
55°	0	0	— 0·9	— 3·4	— 8·7	— 9·4	— 35·4
60°	+ 0·9	+ 0·7	0	0	— 4·2	— 5·1	— 34·0
65°	+ 4·2	+ 2·1	+ 0·4	+ 0·4	0	0	— 27·5
70°	+ 10·1	+ 4·8	+ 1·9	+ 1·4	+ 0·6	+ 0·5	— 20·2
75°	+ 14·9	+ 8·2	+ 2·4	+ 2·0	+ 1·5	+ 1·3	— 18·5
80°	+ 20·5	+ 15·5	+ 15·6	+ 14·0	+ 13·2	+ 15·1	— 17·2
88°	+ 50·6	+ 50·4	+ 45·6	+ 45·5	+ 32·5	+ 29·5	— 16·0

TABELLE IX.

Inzidenz-winkel	$\varphi_{Pt}=4710$	$\varphi_{Au}=4710$	$\varphi_{Ag}=4820$	$\varphi_{Bi}=4900$	$\varphi_{Ni}=4760$	$\varphi_{Cu}=4820$	$\varphi_{Al}=4800$
	$i.10^7$ Amp.	$i.10^7$ Amp.	$i.10^7$ Amp.	$i.10^7$ Amp.	$i.10^7$ Amp.	$i.10^7$ Amp.	$i.10^7$ Amp.
0°	— 19·2	— 19·4	— 26·4	— 27·4	— 30·8	— 32·9	— 60·0
40°	— 4·4	— 6·2	— 15·9	— 12·4	— 23·4	— 26·6	— 59·0
50°	— 0·8	— 1·1	— 8·4	— 7·5	— 19·5	— 24·6	— 58·1
58°	0	0	— 1·2	1·8	— 16·4	— 19·5	— 50·2
65°	+ 5·4	+ 3·5	0	0	— 9·4	— 13·9	— 45·4
70°	+ 7·2	+ 5·0	+ 1·0	+ 0·6	0	0	— 40·0
80°	+ 12·0	+ 10·3	+ 8·9	+ 7·5	+ 7·2	+ 6·1	— 35·4
88°	+ 44·5	+ 35·3	+ 32·5	+ 34·2	+ 22·9	+ 19·3	— 34·5

TABELLE X.

Inzidenz-winkel	$\varphi_{Pt} = 6980$	$\varphi_{Au} = 6950$	$\varphi_{Ag} = 7000$	$\varphi_{Bi} = 7110$	$\varphi_{Ni} = 7510$	$\varphi_{Cu} = 7420$	$\varphi_{Al} = 7000$
	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp.
0°	− 31·2	− 32·0	− 37·5	− 37·8	− 42·4	− 45·0	− 79·6
40°	− 16·4	− 17·5	− 24·2	− 25·2	− 31·9	− 32·4	− 78·5
50°	− 3·5	− 4·2	− 10·3	− 10·8	− 22·5	− 27·9	− 75·3
60°	0	0	− 2·1	− 1·5	− 8·9	− 8·0	− 70·8
65°	+ 2·9	+ 1·5	0	0	− 2·5	− 3·6	− 67·7
70°	+ 4·9	+ 3·9	+ 1·4	+ 3·4	0	0	− 66·5
75°	+ 6·3	+ 5·5	+ 3·6	+ 6·8	+ 0·4	+ 1·2	− 65·9
80°	+ 18·6	+ 19·3	+ 10·3	+ 15·6	+ 5·3	+ 6·8	− 62·3
88°	+ 30·1	+ 31·2	+ 25·9	+ 24·2	+ 9·4	+ 9·3	− 59·4

TABELLE XI.

Inzidenz-winkel	$\varphi_{Pt} = 8850$	$\varphi_{Au} = 8820$	$\varphi_{Ag} = 8100$	$\varphi_{Bi} = 8100$	$\varphi_{Ni} = 8800$	$\varphi_{Cu} = 8880$	$\varphi_{Al} = 8560$
	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp.
0°	− 37·4	− 37·9	− 41·0	− 41·2	− 46·5	− 49·3	− 89·3
40°	− 24·2	− 30·9	− 37·5	− 37·0	− 42·4	− 48·0	− 88·6
50°	− 12·1	− 18·5	− 30·6	− 28·5	− 38·5	− 46·3	− 88·0
60°	− 2·1	− 9·6	− 21·5	− 19·6	− 24·2	− 25·3	− 84·3
65°	0	− 4·3	− 12·6	− 10·6	− 12·6	− 12·5	− 80·5
70°	+ 2·2	0	− 1·5	− 2·5	− 4·3	− 8·6	− 76·9
75°	+ 3·6	+ 1·4	0	0	0	0	− 72·7
80°	+ 4·5	+ 2·1	+ 1·2	+ 3·5	+ 1·2	+ 0·9	− 68·9
88°	+ 20·5	+ 16·3	+ 12·3	+ 18·6	+ 2·5	+ 1·8	− 62·5

TABELLE XII.

Inzidenz-winkel	$\varphi_{Pt} = 10200$	$\varphi_{Au} = 10300$	$\varphi_{Ag} = 10280$	$\varphi_{Bi} = 10300$	$\varphi_{Ni} = 10100$	$\varphi_{Cu} = 10000$	$\varphi_{Al} = 10500$
	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp.
0°	— 42·5	— 44·6	— 50·3	— 50·4	— 55·4	— 58·0	— 93·0
40°	— 27·3	— 32·2	— 40·1	— 39·3	— 53·6	— 56·0	— 92·5
50°	— 18·1	— 24·6	— 37·8	— 35·4	— 50·5	— 54·2	— 91·6
60°	— 9·5	— 18·4	— 30·4	— 28·7	— 42·3	— 46·3	— 87 6
70°	0	— 3·1	— 14·5	— 12·4	— 16·9	— 20·2	— 85·2
75°	+ 1·3	0	— 1·5	— 1·6	— 15·2	— 17·1	— 80·1
80°	+ 2·6	+ 1·1	0	0	— 10 5	— 10·5	— 78·5
88°	+ 9·1	+ 5·2	+ 0·2	+ 0·4	— 9·8	— 9·3	— 73·3

TABELLE XIII.

Inzidenz-winkel	$\varphi_{Pt} = 12800$	$\varphi_{Au} = 11000$	$\varphi_{Ag} = 12000$	$\varphi_{Bi} = 12150$	$\varphi_{Ni} = 11540$	$\varphi_{Cu} = 11520$	$\varphi_{Al} = 11640$
	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp.
0°	— 49·4	— 49·5	— 54·5	— 56 0	— 56·6	— 59 0	— 101·2
40°	— 38·4	— 42·3	— 50·1	— 49·4	— 54·1	— 56·4	— 101·0
50°	— 29·5	— 35·3	— 48·2	— 45·3	— 49·4	— 55·0	— 100·2
60°	— 18·4	— 30·6	— 42·9	— 39·6	— 44·6	— 48·8	— 97·6
70°	— 5·5	— 14·5	— 36·8	— 34·4	— 30·4	— 30·6	— 94 5
75°	0	— 8·4	— 29·9	— 24·6	— 22·9	— 28·1	— 92·3
80°	+ 1·1	— 0·2	— 14·5	— 18·5	— 19·1	— 19 9	— 90·8
85°	+ 2·8	0	— 9·6	— 9·5	— 17·2	— 18·4	— 88·6
88°	+ 3·0	+ 1·1	+ 6·6	— 7·0	— 16·5	— 16·0	— 85·4

TABELLE XIV.

Inzidenz-winkel	$\varphi_{Pt} = 12400$	$\varphi_{Au} = 12520$	$\varphi_{Ag} = 12700$	$\varphi_{Bi} = 12720$	$\varphi_{Ni} = 12540$	$\varphi_{Cu} = 12500$	$\varphi_{Al} = 12600$
	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp.
0°	— 54·8	— 54·9	— 56·5	— 57·2	— 58·4	— 59·4	— 102·6
40°	— 43·1	— 47·1	— 54·6	— 53·5	— 57·0	— 57·2	— 101·0
50°	— 39·1	— 42·3	— 50·5	— 48·6	— 54·3	— 56·1	— 100·5
60°	— 28·6	— 30·4	— 45·8	— 43·6	— 50·3	— 52·3	— 97·6
70°	— 16·4	— 19·1	— 40·9	— 38·5	— 45·8	— 44·8	— 95·5
80°	— 9·5	— 14·1	— 36·3	— 35·2	— 38·6	— 39·9	— 94·5
85°	— 6·5	— 9·5	— 32·2	— 30·3	— 36·4	— 38·6	— 90·9
88°	— 6·0	— 9·2	— 22·4	— 21·6	— 35·5	— 36·2	— 87·4

TABELLE XV.

Inzidenz-winkel	$\varphi_{Pt} = 13950$	$\varphi_{Au} = 13910$	$\varphi_{Ag} = 13900$	$\varphi_{Bi} = 13800$	$\varphi_{Ni} = 14000$	$\varphi_{Cu} = 14000$	$\varphi_{Al} = 14000$
	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp.
0°	— 54·6	— 55·0	— 62·0	— 61·2	— 49·9	— 52·8	— 84·5
40°	— 51·5	— 53·4	— 56·5	— 54·5	— 47·5	— 59·2	— 83·1
50°	— 49·1	— 50·6	— 55·4	— 53·6	— 45·2	— 46·8	— 82·4
60°	— 47·2	— 48·5	— 55·0	— 52·3	— 41·5	— 42·5	— 78·5
70°	— 44·5	— 45·9	— 52·4	— 50·8	— 39·8	— 42·0	— 76·5
80°	— 35·1	— 35·6	— 48·4	— 47·6	— 37·9	— 41·1	— 74·6
85°	— 30·6	— 32·5	— 40·9	— 39·1	— 36·8	— 39·2	— 72·9
88°	— 26·5	— 27·8	— 35·8	— 36·0	— 35·5	— 38·1	— 70·2

TABELLE XVI.

Inzidenz-winkel	$\varphi_{Pt}=14260$	$\varphi_{Au}=14500$	$\varphi_{Ag}=14640$	$\varphi_{Bi}=14420$	$\varphi_{Ni}=14720$	$\varphi_{Cu}=14520$	$\varphi_{Al}=14560$
	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp.	$i \cdot 10^7$ Amp	$i \cdot 10^7$ Amp.
0°	— 46·3	— 44·1	— 40·2	— 41·3	— 33·4	— 38·4	— 56·5
40°	— 44·5	— 43·1	— 39·0	— 40·2	— 32·5	— 37·6	— 56·0
50°	— 40·4	— 39·6	— 37·5	— 38·4	— 30·1	— 35·1	— 55·0
60°	— 39·0	— 38·2	— 36·5	— 36·9	— 29·0	— 34·2	— 59·3
70°	— 36·9	— 34·1	— 34·4	— 35·1	— 27·5	— 31·9	— 48·8
80°	— 30·0	— 28·9	— 29·3	— 30·4	— 26·6	— 29·2	— 47·2
85°	— 28·4	— 26·3	— 25·4	— 27·5	— 25·9	— 28·5	— 46·5
88°	— 25·3	— 23·5	— 22·4	— 24·6	— 25·0	— 27·9	— 45·9

7. Diskussion der Versuchsresultate.

1) Betrachtet man zuerst die Tabellen VIII—XVI, so sieht man, daß der Strom am Reflektor bei allen untersuchten Metallen mit der Zunahme des Inzidenzwinkels der auftreffenden Kathodenstrahlen stark abnimmt, daß er ferner bei allen Metallen mit Ausnahme von Aluminium bei einem gewissen Winkel Null wird und dann positive Werte annimmt, die sogar größer als die entsprechenden Werte bei senkrechter Inzidenz sein können. Es findet also in der Tat neben dem gewöhnlichen Reflexionsgang noch eine sekundäre Emission von Elektronen am Reflektor statt, die um so größer wird, je schiefer der Inzidenzwinkel der primären Strahlen ist. Die sekundäre Kathodenstrahlenmenge ist daher eine Funktion des Einfallswinkels der primären Kathodenstrahlen.

2) Man sieht ferner, daß bei allen untersuchten Metallen die Menge der sekundär emittierten Elektronen in beträchtlichem Maße von der Spannungsdifferenz zwischen der Kathode und dem Reflektor abhängt. Während z. B. bei „3520 Volt“ Primärstrahlen, wenn Platin als Reflektor benutzt wird, die Differenz zwischen dem Kathodenstrom bei senkrechter Inzidenz und derjenigen bei 88^0 $67{\cdot}8 \cdot 10^7$ Amp. ausmacht, beträgt die entsprechende Differenz bei „13950 Volt“ Strahlen nur $28{\cdot}1 \cdot 10^7$ Amp. Mit der Zunahme der Geschwindigkeit der Primärstrahlen nimmt die Emission von sekundären Kathodenstrahlen ab.

3) Was die Abhängigkeit der sekundären Strahlung von der Natur des Reflektormaterials betrifft, kann man die untersuchten Metalle in drei Gruppen einteilen; zur ersten gehören: Platin, Gold, Silber, Wismut, zur zweiten: Nickel, Kupfer, zur dritten: Aluminium. Die erste Gruppe zeigt den größten positiven Effekt, während bei Aluminium der Reflektorstrom nie positiv oder Null wird. Obzwar der positive Strom bei Platin und Gold eher und stärker eintritt als bei Silber und Wismut, muß man doch die vier Metalle zur selben Gruppe in bezug auf ihr Verhalten bei der sekundären Emission rechnen; bei Platin und Gold ist nämlich der negative Strom bei senkrechter Inzidenz wegen der größeren Reflexion schwächer als bei Silber und Wismut. Bildet man aber die entsprechenden Differenzen zwischen den Reflektorströmen bei senkrechten Inzidenzwinkeln und denjenigen bei 88^0, so sieht man,

daß die bei Platin, Gold, Silber und Wismut keinen wesentlichen Unterschied zeigen. Aus dem Verhalten der untersuchten Metalle kann man schließen, daß je größer die Dichte des Reflektormetalls ist, die Wirkung der sekundären Emission desto stärker zum Ausdruck gelangt.

4) Aus den Tabellen VIII bis XVI ersieht man, daß infolge der Emission von sekundären Kathodenstrahlen der negative Strom am Reflektor mit wachsendem Einfallswinkel abnimmt und unter Umständen über Null zu positiven Größen übergeht, die sogar dreimal so groß sind als die entsprechenden Werte des negativen Stromes bei senkrechter Inzidenz. Wäre die Geschwindigkeit der sekundären Kathodenstrahlen von derselben Größenordnung, wie die der primären, so müßte Q bei dem Winkel, bei welchem der Reflektor stromlos ist, gleich Null sein, dagegen bei dem Winkel, bei welchem der Reflektorstrom große positive Werte annimmt, müßte sogar Q negativ werden, d. h. das Thermometer müßte sinken. Unter allen Umständen müßte sich Q mit dem Inzidenzwinkel ändern, wenn die Geschwindigkeit der sekundären und der primären Strahlen von derselben Größenordnung wäre. Da aber Q bei allen Winkeln unverändert bleibt, so muß man notwendig schließen, daß die Geschwindigkeit der sekundären Kathodenstrahlen sehr gering ist, wenn die Energie der Sekundärstrahlen nicht aus der inneren Energie der Metalle stammt. Nach den Messungen von Füchtbauer [1]) ist aber die Geschwindigkeit der Sekundärstrahlen in der Tat sehr klein.

5) Aus der Tatsache, daß die am Reflektor gemessene Wärmemenge Q bei allen Winkeln dieselbe bleibt, wie bei senkrechter Inzidenz, läßt sich noch auch über den Reflexionsvorgang folgender Schluß ziehen: Aus den Versuchen von Herrn Gehrcke [2]), die innerhalb des Intervalles von ca 3000 bis 15000 Volt ausgeführt wurden, folgt, daß unter den zurückgeworfenen Kathodenstrahlen sich auch solche finden, bei denen die Geschwindigkeit während der Reflexion unverändert bleibt, ferner daß der Geschwindigkeitsverlust, den eine gewisse Anzahl von Elektronen erleidet, nur etwa bis zur Hälfte des anfänglichen Wertes geht. Würde die Reflexion mit der Änderung des Inzidenzwinkels abnehmen oder zunehmen,

[1]) Christian Füchtbauer, Verh. d. phys. Ges. 1906, S. 394.
[2]) E. Gehrcke, Ann. d. Phys. S. 81, 1902.

dann müßte sich auch die Wärme Q mit der Variation der Inzidenz dem entsprechend vergrößern, resp. verringern. Da aber Q bei den verschiedenen Einfallswinkeln konstant bleibt, folgt, daß bei jedem Winkel dasselbe Kathodenstrahlenbündel zurückgeworfen wird. Die Größe der Reflexion ist von dem Einfallswinkel der Kathodenstrahlen unabhängig.

6) Da Q bei allen untersuchten Spannungen vom Inzidenzwinkel unabhängig ist, folgt, daß die Geschwindigkeit der sekundären Kathodenstrahlen bei allen untersuchten Spannungen sehr gering und von derselben Größenordnung ist.

7) Da Q ferner bei allen untersuchten Metallen mit der Inzidenz der primären Kathodenstrahlen sich nicht ändert, so folgt, daß die Geschwindigkeit der sekundär emittierten Kathodenstrahlen bei den verschiedenen Metallen von derselben Größenordnung ist.

8) Aus den Tabellen I—VIII ersieht man, daß das Verhältnis $\frac{i\varphi}{Q}$ bei senkrechter Inzidenz bei allen Metallen immer kleiner als 1 ist. Da die Geschwindigkeit der sekundären Kathodenstrahlen sehr klein ist im Vergleich mit der Geschwindigkeit der primären, kann man v_s in der Formel (4a) des Paragraphen 2 vernachlässigen. Die Abweichung des Ausdruckes $\frac{i\varphi}{Q}$ von 1 kann also nur daher herrühren, daß 1) $v_r < v_p$ ist, d. h. daß die zurückgeworfenen Elektronen dem Reflektor zwar Wärme, aber keine Elektrizität zurücklassen, und in diesem Falle muß notwendig $Q > i\varphi$ sein; 2) daß auch bei senkrechter Inzidenz eine sekundäre Emission stattfindet und dadurch der Strom i zu schwach wird. Die Tabellen bestätigen also vor allem die schon von Herrn Gehrcke[1]) erhaltenen Resultate, daß die Kathodenstrahlen bei der Reflexion einen Geschwindigkeitsverlust erleiden.

Man kann aus ihnen aber auch mit großer Wahrscheinlichkeit den Schluß ziehen, daß die Verkleinerung des Ausdruckes $\frac{i\varphi}{Q}$ auch auf Kosten der sekundären Emission zu rechnen ist. Das Verhältnis

[1]) l. c.

$\frac{i\varphi}{Q}$ nimmt bei allen Metallen mit der Spannung stark zu. Da die Reflexion nach den Messungen Herrn Starkes ein von der Spannung unabhängiger Vorgang ist, so müßte $\frac{i\varphi}{Q}$ bei allen Spannungen konstant bleiben, wenn die Abweichung von 1 nur von der Änderung der Geschwindigkeit der Strahlen bei der Reflexion herrühren sollte. Es könnte in dem Falle eher eine Abnahme des Ausdruckes $\frac{i\varphi}{Q}$ eintreten. Man kann daher folgern, daß die Abweichung des Quotienten $\frac{i\varphi}{Q}$ von 1 auch daher kommt, daß auch bei senkrechter Inzidenz eine sekundäre Emission statthat, deren Menge mit wachsender Spannung genau so wie bei schiefer Inzidenz abnimmt. Daher erklärt sich die Zunahme von $\frac{i\varphi}{Q}$ mit der Spannung. Diese Folgerung wird insbesondere durch die Tatsache bekräftigt, daß $\frac{i\varphi}{Q}$ bei Aluminium, welches die kleinste sekundäre Strahlung zeigt, schon bei der niedrigsten, zur Messung kommenden Spannung den Wert 0·88 hat, der dann rasch zunimmt und schließlich den Wert 0·99 erreicht, während bei Platin der höchste Wert 0·97 beträgt.

8. Ein Kontrollversuch.

Nach den Tabellen I bis VIII ist $\frac{i\varphi}{Q}$ bei senkrechter Inzidenz immer kleiner als 1. weil erstens ein Teil der Kathodenstrahlen bei der Reflexion einen Geschwindigkeitsverlust erleidet und zweitens weil wahrscheinlich auch bei senkrechter Inzidenz eine sekundäre Emission statthat, die den negativen Strom i verkleinert. Wird aber der gesamte Strom, sowohl derjenige, welcher am Reflektor bleibt, wie der reflektierte aufgefangen, wird ferner die gesamte Wärme, also auch die von den reflektierten Strahlen weggeführte, aufgefangen, dann muß offenbar $\frac{i\varphi}{Q}$ notwendig gleich 1 werden. Um das experimentell zu prüfen, wurde folgende Versuchsanordnung getroffen: Fig. 2.

Die in der Pfeilrichtung ankommenden Kathodenstrahlen passieren das Diaphragma des äußeren, als elektrischer Schutz für die inneren Teile dienenden, erdabgeleiteten Metallzylinders *a*, und fallen, nachdem sie durch die weitere Öffnung des inneren Aluminiumzylinders *b* hindurchgegangen sind, auf das im Paragraphen 3 beschriebene Thermometer, welches auch hier als Reflektor dient. Der äußere Zylinder ist 6 cm lang und hat einen Durchmesser von 4 cm, der innere Zylinder dagegen 4 cm lang mit einem

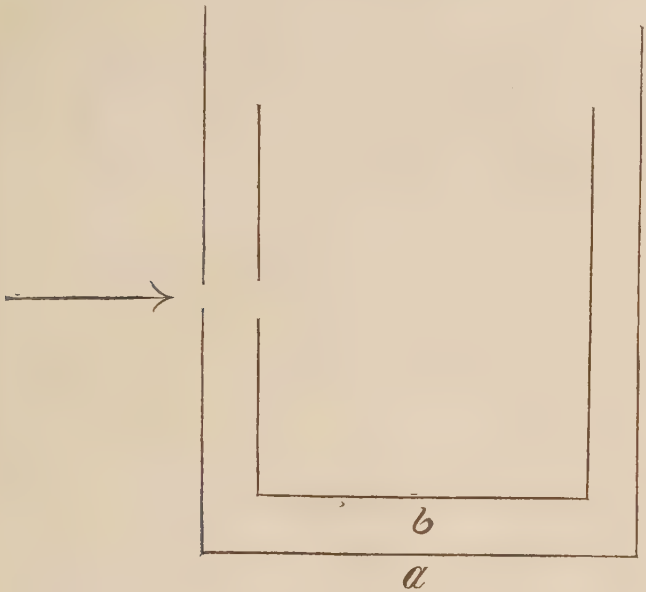

Fig. 2.

Durchmesser von 2·5 cm. Die Eintrittsöffnung für die Kathodenstrahlen im äußeren Zylinder hat einen Durchmesser von 3 mm, die im inneren Zylinder einen von 5 mm. Die beiden Zylinder sind in die im § 3 beschriebene Röhre gebracht. Das Thermometer war gerade so wie bei den früheren Versuchen durch ein Galvanometer von Hartmann & Braun zur Erde abgeleitet. Alles was vom Reflektor reflektiert und emittiert wird, gelangt an die Wände des inneren Zylinders *b*; die durch das Diaphragma des inneren Zylinders verlorengehende Strahlenmenge ist sehr gering[1]). Der

[1]) l. c.

Zylinder b ist metallisch mit dem Thermometer verbunden, indem er durch einen Draht an die Platinschicht des Thermometergefäßes angelötet ist. Der Reflektor fängt dann wahrscheinlich fast die ganze Elektrizität und Wärme auf, $\frac{i\varphi}{Q}$ wird gleich 1, wie es die folgende Tabelle ersichtlich macht.

TABELLE XVII.

Platin.

φ	$i \cdot 10^7$ Amp.	$Q \cdot 10^3$ Watt	$\frac{i\varphi}{Q}$
6850	47·5	31·4	1·03
7500	59·8	44·4	1·01
10000	67·6	66·2	1·02
10550	69·2	73·0	1·00
12100	78·4	94·8	1·00
13000	76·1	98·9	1·00

9. Versuch einer theoretischen Deutung.

Die im § 6 mitgeteilten Messungen zeigen, daß die sekundäre Emission bei allen untersuchten Metallen vom Inzidenzwinkel der primären Kathodenstrahlen abhängt, und zwar nimmt die Menge mit wachsendem Winkel ab. Diese Tatsache läßt sich folgendermaßen deuten. Als Ausgangszentren für die sekundären Strahlen betrachten wir diejenigen Stellen, an denen die primären Elektronen absorbiert werden. Wenn wir annehmen, daß die einfallenden Elektronen zum großen Teil auch innerhalb des Metalls die ursprüngliche Richtung beibehalten, so werden bei normaler Inzidenz die Primärstrahlen in tiefe Schichten eindringen, bei streifender Inzidenz müssen sie schon gleich in den äußersten Schichten absorbiert werden. Die bei senkrechter Inzidenz ausgelösten Strahlen entstehen dann auch in tiefen Schichten des Metalles. Berücksichtigt man noch die geringe Geschwindigkeit der sekundären Strahlen, so ist es sehr wahrscheinlich, daß die bei senkrechter Inzidenz

emittierten Elektronen gar nicht mehr an die Oberfläche des Metalls gelangen, sondern schon im Innern absorbiert werden. Sie gelangen infolgedessen größtenteils nicht zur Wirkung. Die Abhängigkeit der Größe der sekundären Strahlen vom Inzidenzwinkel der auftreffenden Kathodenstrahlen wäre demnach nur als eine scheinbare zu betrachten; in Wirklichkeit löst jedes Elektron bei demselben Metall wenigstens dieselbe Anzahl von sekundären Elektronen aus, unabhängig vom Einfallswinkel, nur werden sie bei verschiedenen Winkeln in verschiedenem Maße schon in den inneren Schichten absorbiert.

Aber auch die Abhängigkeit der sekundären Menge von der Natur des Reflektormetalls ist vielleicht nur eine scheinbare. Unter den untersuchten Metallen zeigt sich Aluminium am wenigsten wirksam. Nun sind bekanntlich Aluminiumblättchen für Kathodenstrahlen viel durchlässiger als andere Metalle. Nimmt man an, daß der Absorptionskoëffizient für Aluminium stärker von der Geschwindigkeit abhängt als bei anderen Metallen, so kann man die geringe Wirkung bei Aluminium so deuten, daß infolge der Absorption der primären Strahlen bei Aluminium in tieferen Schichten auch eine größere Anzahl der sekundären, langsamen Elektronen nicht mehr an die Oberfläche kommt.

Aus demselben Grunde (des tieferen Eindringens der Primärstrahlen, dessen Folge die Absorption einer größeren Anzahl von Elektronen ist) kann man auch die Abnahme der sekundären Emission mit der Zunahme der Geschwindigkeit der Primärstrahlen als eine vielleicht nur scheinbare betrachten. Zum Schluße mag folgende Überlegung mitgeteilt werden: Das Reflektormetall sei Gold. Um zu sehen, wie groß die Intensität i_p der Primärstrahlen ist, welche die Auslösung von Elektronen verursachen, verfahren wir auf folgende Weise: Jedenfalls gelangt bei sekrechter Inzidenz nur eine sehr geringe Anzahl sekundärer Strahlen zur Wirkung. Wir berücksichtigen diese, indem wir nach Becker [1]) annehmen, daß der Galvanometerstrom dadurch etwa um 15 Prozent geschwächt wird. Der am Goldreflektor bei senkrechter Inzidenz am Galvanometer gemessene negative Strom beträgt bei 3500 Volt $17{\cdot}3 \cdot 10^{-7}$ Amp., berücksichtigt man noch die 15% emittierten Strahlen, so kann man annehmen, daß die Intensität der auslösenden Strahlen

[1]) l. c.

gleich ist: $i_p = 19{\cdot}9 \cdot 10^{-7}$, und zwar ist i_p wegen der Unabhängigkeit der Reflexion vom Inzidenzwinkel bei allen Winkeln bei gleicher Spannung gleich groß. Nun nehmen wir an, daß beim Winkel von 88° alle ausgelösten Elektronen bis auf einen kleinen Teil an die Oberfläche gelangen, denn die primären Strahlen werden bei diesem Winkel bis auf einen kleinen Teil, der infolge der Diffusion zentral gerichtet wird, schon in den äußersten Schichten absorbiert werden. Die von den zentral gerichteten primären Strahlen ausgelösten Elektronen kommen zwar nicht zur Wirkung, doch wird das nicht viel ausmachen, da wegen der äußerst dünnen Schicht nur ein kleiner Bruchteil der Primärstrahlen zentral gerichtet wird. Die bei 88° am Galvanometer abgelesene positive Stromstärke beträgt $50{\cdot}4 \cdot 10^{-7}$ Amp., die Intensität der durch die Primärstrahlen ausgelösten, sekundären Kathodenstrahlen wird daher mindestens gleich sein $i_s = 70{\cdot}3 \cdot 10^{-7}$ Amp. Wir gelangen also zu dem Schluß: ist $i_p = 19{\cdot}9 \cdot 10^{-7}$ Amp., so ist $i_s = 70{\cdot}3 \cdot 10^{-7}$ Amp., d. h. ein primäres Elektron löst mindestens 3·5 sekundäre Elektronen aus. Diese Zahl ist als eine untere Grenze anzusehen.

10. Zusammenfassung.

Beim Auftreffen von Kathodenstrahlen auf ein erdabgeleitetes Metall findet neben dem Reflexionsvorgang, der auf einer Zurückwerfung der Strahlen beruht, noch eine sekundäre Emission von sehr langsamen Kathodenstrahlen statt. Die geringe Geschwindigkeit der sekundären Elektronen ist bei allen Metallen von derselben Größenordnung. Die Versuche zeigen zwar, daß die Anzahl der sekundär emittierten Elektronen eine Funktion des Einfallswinkels und der Geschwindigkeit der Primärstrahlen ist, doch läßt sich diese Abhängigkeit wie auch die Abhängigkeit von der Natur des Reflektormaterials als eine nur scheinbare deuten. Jedes Elektron verursacht eine Emission derselben Anzahl von sekundären Elektronen. Die Energie der sekundären Kathodenstrahlen entstammt nicht der Energie der Primärstrahlen, sie muß vielmehr schon im Innern des Metallatoms in irgend welcher Form vorhanden sein. Die Rolle der Primärstrahlen ist nur eine auslösende.

Ich erfülle eine Pflicht, wenn ich zum Schlusse meinem hochverehrten Lehrer Herrn Geheimrat W. Wien meinen allerwärmsten Dank für die gütige Förderung meiner Arbeit und die Anregungen ausspreche, die er mir auch sonst hat zuteil werden lassen.

Würzburg, Physik. Institut. Im November 1906.

Lebenslauf.

Ich, Jakob Laub, katholisch, Sohn des Privatiers Adolf Laub und seiner Ehefrau Anna, wurde am 7. Febr. 1882 zu Rzezow in Österreich geboren. Nach Absolvierung des Staatsgymn. in Rzezow 1901 besuchte ich zuerst die Universitäten in Krakau und Wien; von Oktober 1902 bis Michaelis 1905 die Universität Göttingen. Hier widmete ich mich hauptsächlich dem Studium der Mathematik und der theoretischen Physik, sowie der Philosophie und hörte Vorlesungen der Herren: Abraham, Ambronn, Bousset, Hilbert, Klein, Minkowski, Nernst, Peipers, Riecke, Simon, Stark, Voigt, Wiechert, Zermelo. Im Oktober 1905 bezog ich die Universität Würzburg, woselbst ich unter der Leitung des Herrn Professor Wien arbeite und die anliegende Arbeit fertigte. Seit Anfang 1906 bin ich auch mit einem Problem aus der Psychophysik beschäftigt. Ich hörte dahier die Vorlesungen der Herren: Cantor, Dürr, Külpe, Prym, Wien. Die neuerliche Prüfung fand statt am 28. November 1906.

Allen meinen verehrten Lehrern gestatte ich mir auch an dieser Stelle meinen herzlichsten Dank auszusprechen.

BULLETIN INTERNATIONAL
DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE CRACOVIE.

CLASSE DES SCIENCES MATHÉMATIQUES ET NATURELLES.

Table des articles du N° 1.
Janvier 1907.

1. M. MARIE SMOLUCHOWSKI. Contribution à la théorie du mouvement des liquides visqueux; en particulier des problèmes en deux dimensions. — 2. M. V. HUMNICKI. Sur la condensation de l'acétoguanamine avec des aldéhydes aromatiques. — 3. M. W. KUDELKA. Anatomie comparée des organes végétatifs des Groseilliers (Ribes). — 4. M. M. P. RUDZKI. Sur la profondeur du foyer du tremblement de terre de la Calabre du 8 Sept. 1905. — 5. M. J. NOWAK. La flore fossile sénonienne de Potylicz.

Table des articles du N° 2.
Février 1907.

6. M. L. MARCHLEWSKI. Nouvelle preuve de la parenté chimique entre la matière colorante du sang et la chlorophylle. — 7. M. ZAPAŁOWICZ. Revue critique de la flore de la Galicie. VIII partie. — 8. M. J. LAUB. Sur les rayons cathodiques secondaires. — 9. M. J. GRZYBOWSKI. Borysław. Une monographie géologique. — 10. MM. A. KORCZYŃSKI et L. MARCHLEWSKI. Études sur les matières colorantes des racines de Datisca Cannabina, II. — 11. M. J. CZAJKOWSKI. Sur la préparation artificielle des sérums thérapeutiques.